

УДК 621.317

АНАЛІЗ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЧЕРЕЗ АПРОКСИМАЦІЮ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Туз Ю. М., Шумков Ю. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: tuz@aer.kpi.ua, yu.shumkov@gmail.com

На різних етапах зборки вузлів РЕА, плат друкованого монтажу важливою задачею є проведення внутрішньосхемного контролю параметрів електро- і радіоелементів [1]. Шляхом створення спеціального режиму в електричній схемі, що дозволяє виділити окремі ділянки у вигляді простих двополюсників, реалізується поелементний контроль. У загальному випадку моделлю виділених ділянок є багатоелементне двополюсне електричне коло (БДЕК). З точки зору забезпечення високої продуктивності систем контролю перевагу мають методи, засновані на застосуванні спеціально підібраних за формою випробувальних сигналів (ВС), що вже під час перехідного процесу в БДЕК забезпечують легко аналізовані вихідні сигнали [2]. Так за методом нулів і полюсів (МНП) використовують ВС, які складаються з суми експонент, що відтворюють інверсну модель функції імітансу досліджуваного кола.

Потрібність перебудови моделі ВС або його параметрів при вимірах потребує формування ВС за методом дискретного синтезу. Тривалість ВС визначається часом встановлення вільної складової перехідного процесу або власної реакції досліджуваного кола. Розширення діапазону визначення параметрів БДЕК потребує можливості формування експоненціальних ВС малої тривалості за невеликої кількості ділянок апроксимації. При цьому використання традиційного підходу до синтезу ВС кусково-ступінчастими функціями, що формуються ЦАП, призводить до великої похибки вимірювання. Аналогова фільтрація призводить до гладких кусково-експоненціальних моделей. Адекватним математичним апаратом до синтезу таких сигналів є наближення функцій експоненціальними сплайнами (ЕС). При цьому актуальним є дослідження похибки визначення параметрів електричних кіл при невеликій кількості ділянок апроксимації і її мінімізація, що дозволить розширити діапазон параметрів, що визначаються.

Наприклад, для послідовного R, C -кола, імпеданс якого $Z_X(s) = R_X \frac{s + \alpha_X}{s}$, ВС за МНП має бути $i_{B0}(t) = (U_0/R_{X0}) \cdot \exp(-\beta_{B0}t) \cdot 1(t)$, де $\alpha_X = 1/R_X C_X$, $\beta_{B0} = 1/R_{X0} C_{X0}$. Відгук на виході перетворювача «імітанс-напруга» $U_{\text{вих}}(t) \cong 1 \cdot U_0 + (\Delta R_X/R_{X0})e^{-\beta_{B0}t}U_0 - (\Delta C_X/C_{X0})(1 - e^{-\beta_{B0}t}) \cdot U_0$, $t \geq 0$ відтворює відхилення $\Delta R_X, \Delta C_X$ від номінальних [2]. Якщо $R_X = R_{X0}$ і $C_X = C_{X0}$, то відгук буде $U_{\text{вих}}(t) \cong 1(t) \cdot U_0$, що є зручним для реалізації процедури контролю.

Розглянуто наступні випадки побудови сплайнової моделі ВС: 1 – інтерполювання за формою ідеального ВС $i_{B0}(\bar{t})$; 2 – наближення ідеального ВС з мінімальною абсолютною похибкою на кожному інтервалі; 3 – побудова сплайнової моделі ВС шляхом інтерполяції за формою ідеального відгуку (при номінальних значеннях параметрів R_{X0} , C_{X0}). Наприклад, відгук, якщо ВС сформований $G_{2,1}(\bar{t})$ -сплайнами [3], у випадку інтерполяції за формою ідеального ВС буде:

$$U_{\text{вих}}(\bar{t}) = \frac{R_X U_0}{R_{X0}} \left\{ \frac{\alpha_X}{\alpha_G} + \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})(1 - e^{-\beta_{B0}})} + \right. \\ \left. + \left[\left(1 - \frac{\alpha_X}{\alpha_G}\right) \cdot \frac{e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G}}{(1 - e^{-\alpha_G})} - \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})(1 - e^{-\beta_{B0}})} \right] \cdot e^{-\beta_{B0} \cdot n} + \right. \\ \left. + \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})} e^{-\beta_{B0} \cdot n} \cdot \varepsilon + \left(1 - \frac{\alpha_X}{\alpha_G}\right) \cdot \frac{1 - e^{-\beta_{B0}}}{(1 - e^{-\alpha_G})} e^{-\beta_{B0} \cdot n} e^{-\alpha_G \cdot \varepsilon} \right\},$$

де $\bar{t} = n + \varepsilon$ – відносний час, пов’язаний з дійсним часом $\bar{t} = t/h$, h – рівномірний інтервал дискретизації; $n = 0, 1, 2, \dots, N_a - 1$; $0 \leq \varepsilon \leq 1$; $\alpha_X = \alpha_{X_T} h$, $\beta_{B0} = \beta_{B0_T} h$; $\beta_{B0} = \alpha_{X0}$ – параметри у відносному масштабі; $\alpha_G = \alpha_{G_T} h$ – відносний у часі параметр моделі сплайнів; $h = \Theta_Z / N_a = |\ln \xi_{f_Z}| / \beta_{B0_T} N_a$; N_a – кількість ділянок апроксимації; Θ_Z – час спостереження відгуку; ξ_{f_Z} – відносна похибка встановлення власної реакції кола.

Оцінки похибки визначення параметрів R_X , C_X через апроксимацію:

$$\delta R_X \cong \Delta U_R / U_{R0}, \text{ де } \Delta U_R = \max_{\varepsilon \in [0,1]} |U_{\text{вих}}[0, \varepsilon] - 1|, U_{R0} \equiv 1, 0.$$

$$\delta C_X \cong \Delta U_C / U_{C0}, \text{ де } \Delta U_C = \max_{\varepsilon \in [0,1]} |U_{\text{вих}}[N_a - 1, \varepsilon] - 1|, U_{C0} \equiv 1, 0.$$

При обмеженій кількості ділянок апроксимації зазначена складова похибки визначення параметрів електричного кола за МНП є головною.

Ключові слова: метод нулів і полюсів, випробувальний сигнал спеціальної форми, дискретний синтез, апроксимація.

Література

- [1] Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, та В.Т. Шпилевой, *Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА*. Москва, СССР: Радио и Связь, 1987.
- [2] Ю.М. Туз, та В.П. Осадченко, “Некоторые особенности контроля параметров электрических цепей по методу нулей и полюсов”, на *Респ. науч.-техн. конф. Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных приборов и систем*, Киев, СССР, 1985, с. 127-128.
- [3] Ю.С. Шумков, М.В. Гращенко, та В.С. Дараган, “Формування випробувальних сигналів спеціальної форми на основі експоненціальних сплайнів”, *Механіка гіроскопічних систем*, Вип. 35, с. 30-40, 2018.